

Réseaux de distribution

I. Structure générale d'un réseau électrique

Dans les pays dotés d'un système électrique élaboré, le réseau est structuré en plusieurs niveaux (figure 1), assurant des fonctions spécifiques propres, et caractérisés par des tensions adaptées à ces fonctions.

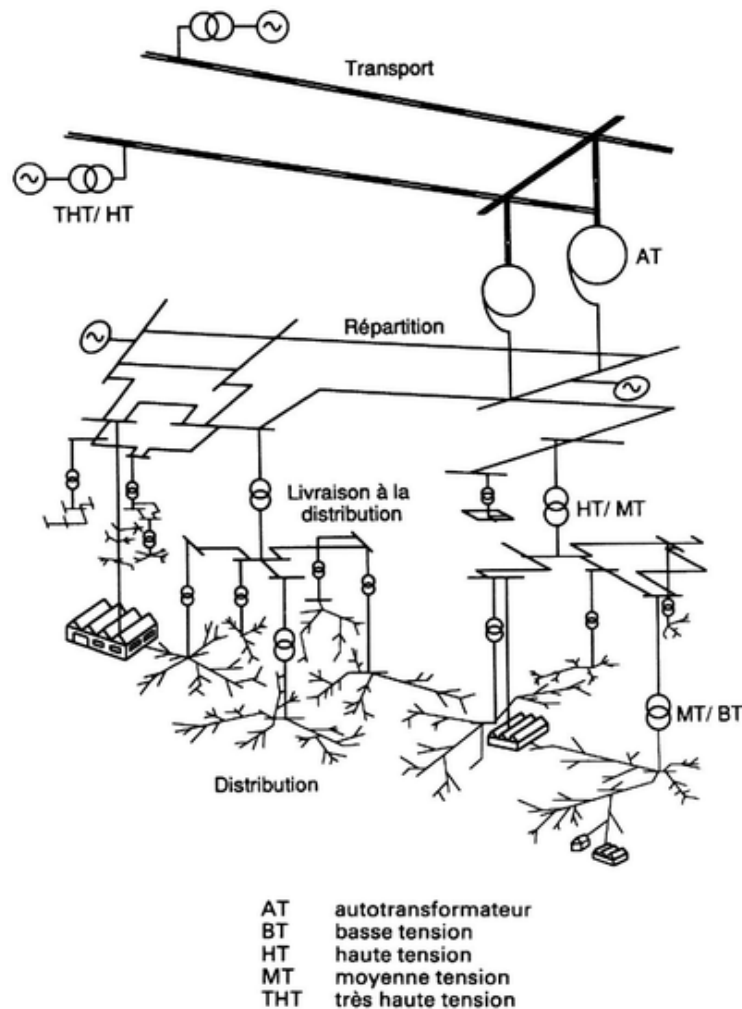


Figure 1. Hiérarchisation d'un réseau électrique.

- Les réseaux de transport à très haute tension (THT) transportent l'énergie des gros centres de production vers les régions consommatrices (de 150 à 800 kV, généralement 400 et 225 kV). Ces réseaux sont souvent interconnectés, réalisant la mise en commun de l'ensemble des moyens de production à disposition de tous les consommateurs.
- Les réseaux de répartition à haute tension (HT) assurent, à l'échelle régionale, la desserte des points de livraison à la distribution (de 30 à 150 kV, en général 90 et 63 kV).
- Les réseaux de distribution sont les réseaux d'alimentation de l'ensemble de la clientèle, à l'exception de quelques gros clients industriels alimentés directement par les réseaux THT et HT. On distingue deux sous-niveaux :

- les réseaux à moyenne tension (MT) : 3 à 33 kV ;
 - les réseaux à basse tension (BT) : 110 à 600 V.
- Il est à noter que les choix des différents niveaux de tension résultent directement de l'optimisation des volumes d'ouvrages au regard de la fonction à assurer, les tensions les plus élevées étant les plus adaptées au transport de quantités d'énergie importantes sur de longues distances.

Dans le présent chapitre, sont traités les réseaux de distribution.

II. Réseaux de distribution : objectifs généraux

II.1 Traité de concession. Service public

Dans pratiquement tous les pays, la distribution de l'électricité fait l'objet d'une concession attribuée au distributeur par la puissance publique. Les sociétés concessionnaires, qu'elles soient publiques ou privées, ont le bénéfice du monopole sur un territoire fixé. Cette situation de monopole permet de développer un réseau de distribution optimal pour la collectivité. En contrepartie de ce monopole, ces sociétés sont assujetties à un certain nombre d'obligations constitutives de leur mission de service public.

Les cahiers des charges relatifs aux traités de concessions précisent ainsi l'ensemble des règles qui définissent les performances de base dont doivent être capables les réseaux de distribution, en tant qu'outil principal du distributeur.

II.2 Priorités liées au contexte socio-économique

L'évolution d'un réseau de distribution est conditionnée par le respect de trois objectifs fondamentaux, même si les priorités sont variables :

- la desserte de la clientèle ;
- l'aptitude à faire face au développement de la consommation ;
- la recherche d'une qualité du produit électricité adaptée aux besoins de la clientèle (si nécessaire au-delà des spécifications des cahiers des charges de concession).

Et, bien évidemment, cela doit se faire au coût le plus faible (coûts d'investissements, d'exploitation et d'entretien).

Il convient, également, de prendre en compte, dans la conception et la réalisation des réseaux, d'autres aspects, notamment :

- la sécurité des personnes (exploitants ou tiers) ;
- les contraintes relatives à l'environnement (écologie, encombrement).

II.3 Choix du système et de la fréquence

- Historiquement, et notamment dans beaucoup de grandes villes des pays industrialisés, c'était le courant continu qui était utilisé dans les premiers réseaux de distribution.

L'évolution technologique des moyens de production, la faculté d'adapter les tensions aux puissances au moyen de transformateurs, l'avantage que procure le passage par zéro du courant pour couper celui-ci dans les disjoncteurs ont conduit depuis longtemps déjà à utiliser le courant alternatif dans les réseaux de distribution, et cela de manière quasi universelle.

- Par le passé, des fréquences diverses ont été utilisées à travers le monde. Actuellement, il n'en reste que deux : 50 Hz et 60 Hz (principalement en Amérique du Nord).

Notons qu'une valeur commune de la fréquence a l'avantage capital de permettre une interconnexion internationale des réseaux de transport.

II.4 Distributions triphasée et monophasée

Un avantage bien connu des systèmes électriques triphasés est de permettre le transport de la même quantité d'énergie avec une section conductrice totale deux fois moindre qu'en système monophasé.

L'intérêt économique découlant de ce principe fait que, dans les pays industrialisés, la distribution MT est très généralement triphasée, tout au moins sur les lignes d'ossature.

Néanmoins, sur des dérivations desservant des charges faibles et dispersées, les transits étant faibles par rapport aux capacités électriques des conducteurs, même de faible section (la limite inférieure étant liée à des considérations de tenue mécanique), l'alimentation monophasée peut être intéressante économiquement (2 fils au lieu de 3).

En vertu de ces principes, et en fonction des topologies rencontrées, on distingue, à travers le monde, différents systèmes de distribution MT. Citons principalement (figure 2) :

- le système nord-américain (figure 2.a) à neutre distribué directement mis à la terre ; l'ossature triphasée est composée de quatre fils, et les dérivations, à distribution monophasée entre phase et neutre, comportent un ou plusieurs fils de phase, suivant la puissance à desservir, plus le neutre ;
- le système utilisé par exemple en Grande-Bretagne ou en Irlande (figure 2.b), qui à partir d'ossatures triphasées à trois fils sans neutre distribué alimente des dérivations qui peuvent être à deux fils de phase ;
- le système australien (figure 2.c), particulièrement économique, est constitué d'ossatures à trois fils sans neutre distribué, avec, entre autres, des dérivations monophasées à un seul fil avec retour par la terre (cette solution nécessite une faible résistivité du sol) ;
- le système français (figure 2.d), entièrement triphasé en ossatures et dérivations, à neutre non distribué.

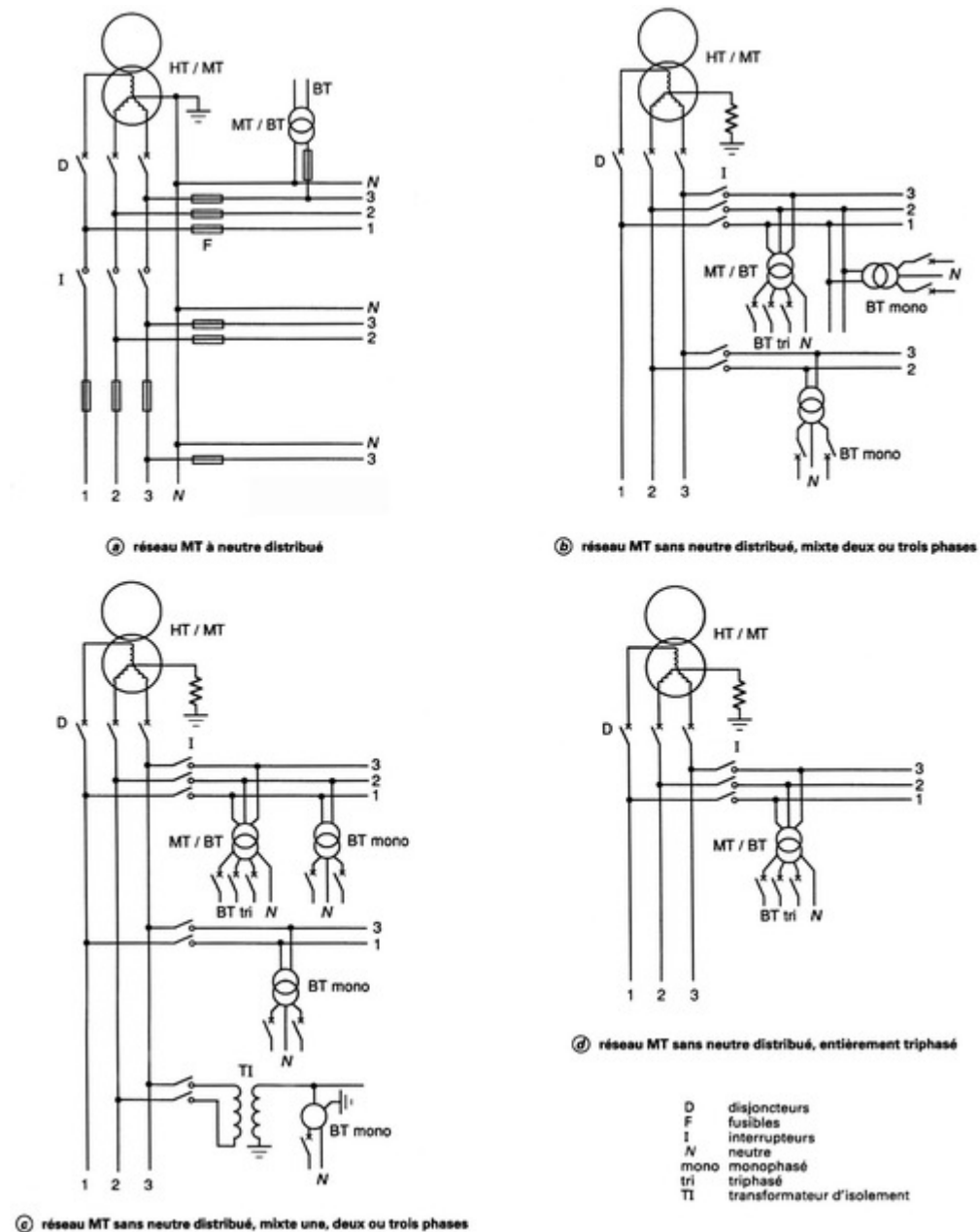


Figure 2 - Différents modes de distribution

II.5. Choix de la moyenne tension

Le choix d'une moyenne tension est une décision stratégique engageant l'avenir, lourde de conséquences quant à la structure et à l'évolution des réseaux et ayant un impact économique important.

La volonté de standardiser les matériels, pour des raisons d'exploitation, d'approvisionnement et de réduction des prix de revient au niveau des constructeurs, conduit naturellement à limiter le plus possible le nombre de MT à mettre en œuvre sur les réseaux.

De plus, la coexistence de plusieurs tensions pose des problèmes de jonctions entre les portions de réseaux de tensions différentes, limitant ainsi la souplesse d'exploitation (secours mutuel compliqué en cas d'incident) et restreignant les possibilités de développement des réseaux.

II.5.1. Critères de choix de la MT

Sur le plan théorique, les tensions élevées présentent des avantages incontestables :

- dans les zones urbaines à densité de charge élevée, les distances de desserte sont faibles, mais les puissances à desservir importantes ; les contraintes essentiellement rencontrées sont les limites dues à l'intensité du courant admissible dans les câbles ; à section de conducteur égale, la charge pouvant être desservie est directement proportionnelle à la tension du réseau ;
- dans les zones rurales à faible densité de charge, les problèmes sont rarement liés aux contraintes de courants admissibles dans les conducteurs, mais aux chutes de tensions admissibles en bout de ligne, les longueurs des conducteurs étant beaucoup plus importantes qu'en milieu urbain ; à section et longueur de conducteur égales, la charge pouvant être desservie est directement proportionnelle au carré de la tension du réseau ;
- de plus, que ce soit en zone urbaine ou en zone rurale, à puissance desservie égale, une tension plus élevée a l'avantage de diminuer les pertes Joule dans les conducteurs.

On voit donc que les tensions élevées sont bien adaptées à la fois en zones rurales et urbaines, surtout si les charges à desservir sont importantes.

Néanmoins, il existe un facteur limitatif essentiel, qui est le coût des ouvrages associé à la tension. Cela est vrai pour les réseaux aériens ruraux, la taille des ouvrages augmentant avec la tension, mais cela l'est encore plus en milieu urbain. En effet, les problèmes liés aux techniques des réseaux souterrains (câbles, matériels de coupure) et les contraintes d'encombrement font que la mise en œuvre des matériels de tension élevée, particulièrement lorsque l'on dépasse 20 kV pour atteindre 30 kV et plus, devient rapidement coûteuse et délicate.

La tension optimale de desserte résulte fondamentalement d'un compromis entre charge à desservir et coût des ouvrages.

D'une façon générale, on peut classer les tensions en trois groupes :

- Les tensions comprises entre 10 et 15 kV, plus particulièrement utilisées dans les distributions urbaines, ont longtemps eu l'avantage, contrairement aux tensions plus élevées, de permettre l'utilisation de câbles souterrains simples, sûrs et bon marché. La valeur limitée du rayon d'action des lignes à ces tensions rend nécessaire l'utilisation d'une tension de répartition pour les zones rurales.
- Les tensions voisines de 20 kV peuvent être utilisées aussi bien dans les distributions urbaines, grâce aux performances apportées par des câbles maintenant sûrs et économiques, que dans les distributions rurales, grâce au rayon de desserte des lignes aériennes ; elles assurent une capacité de desserte beaucoup plus étendue que celles du groupe précédent.

- Les tensions comprises entre 30 et 35 kV, d'utilisation difficile dans les distributions urbaines par suite de l'encombrement de l'appareillage et des transformations, et du coût des câbles, ont retrouvé un regain d'intérêt pour la distribution en lignes aériennes dans les zones d'habitat dispersé à faible densité de charge. La capacité et le rayon de desserte des lignes à 30 kV leur permettent également, pour ces mêmes zones, de jouer un rôle de répartition, voire de transport pour les régions en début d'électrification.

II.6. Choix de la basse tension

La tension de distribution BT est bien évidemment liée aux standards des appareils d'utilisation chez la clientèle.

II.6.1 Historique

Historiquement, la tension de 110 V est celle qui a été utilisée la première. La tendance en Europe, après la Seconde Guerre mondiale, a été une généralisation de la tension 220 V.

II.6.2 Tensions BT utilisées

En dehors des consommateurs industriels qui utilisent des tensions plus élevées pour certaines applications, les tensions de distribution des clients BT se limitent à deux groupes : 115 / 220 V et 230 / 400 V. Cette dernière valeur est pratiquement d'usage général dans tous les pays en réseau triphasé, alors que l'autre est plus répandue en Amérique du Nord, plutôt d'ailleurs sous la forme de deux ponts monophasés de 120 V.

L'usage du système 230 / 400 V se trouve justifié surtout dans les schémas où il existe un réseau de distribution à basse tension (lignes ou câbles) important, car alors les économies sur les investissements sont élevées par rapport au système 115 / 220 V, par suite du rayon de desserte plus grand ou de la réduction des sections de conducteurs. Cette tension conduit aussi à des postes MT/ BT plus puissants et situés à de plus grandes distances les uns des autres, ce qui est un facteur favorable aux valeurs élevées de la moyenne tension. Il y aura donc toujours intérêt, pour les réseaux de puissance définie (postes de 100 à 1 000 kVA, réseaux BT assez étendus), à utiliser une tension du groupe 230 / 400 V.

III. Choix de l'architecture des réseaux

Très généralement, le réseau est composé, de manière hiérarchisée dans le sens du transit de l'énergie (figure 1) des éléments suivants :

- les postes sources HT/MT ou THT/MT alimentés par le réseau de transport ou de répartition ;
- le réseau MT constitué des départs MT issus des sources (en lignes aériennes ou câbles enterrés) ;
- les postes MT/BT de distribution publique ;
- le réseau BT sur lequel sont raccordés les branchements desservant la clientèle.

À partir de cette organisation générale, il existe des schémas variés, qui dépendent d'exigences et de critères multiples, tels que :

- l'étendue des territoires à desservir, les densités de charge et de population, le caractère rural ou urbain des zones à alimenter, mais aussi la morphologie des villes et de l'habitat.
- le degré de qualité de fourniture que l'on vise à atteindre (nombre et durée des coupures admissibles, chutes de tension, forme de l'onde de tension) ;
- la possibilité ou non d'une réalimentation en secours lors d'indisponibilité d'élément de réseau, sur incident ou pour travaux programmés ;
- les contraintes d'environnement : contraintes sur les sites d'implantation des postes sources, problèmes d'esthétique et de sécurité conduisant à préférer les câbles souterrains aux lignes aériennes ;
- la nécessité de tenir compte des réseaux existants (poids du passé), mais aussi les perspectives de développement des charges (par exemple, prévision d'apparition d'un client important, volonté de se ménager une capacité d'accueil) ;
- la cohérence avec les grandes options techniques choisies;
- les coûts pouvant être consentis.
- la technique du réseau souterrain et celle du réseau aérien.

III.1 Postes sources de la MT

Ces postes sources sont alimentés par les réseaux de répartition HT. Dans les zones urbaines très denses, il peut être intéressant de sauter cet échelon de répartition et de réaliser des injections directes THT/MT. Ces deux types de postes présentent quelques différences de conception du fait des fonctions à assumer (puissance plus importante à desservir pour les postes THT/ MT).

III.1.1 Postes HT/ MT

- En phase initiale, ce type de poste (figure 3) est constitué d'un transformateur (T1) alimenté par une ligne HT (HT1). Avec l'augmentation des charges à desservir, on peut y adjoindre un deuxième (T2), puis, en stade final, un troisième (parfois plus) transformateur (T3) généralement en *double attache*.

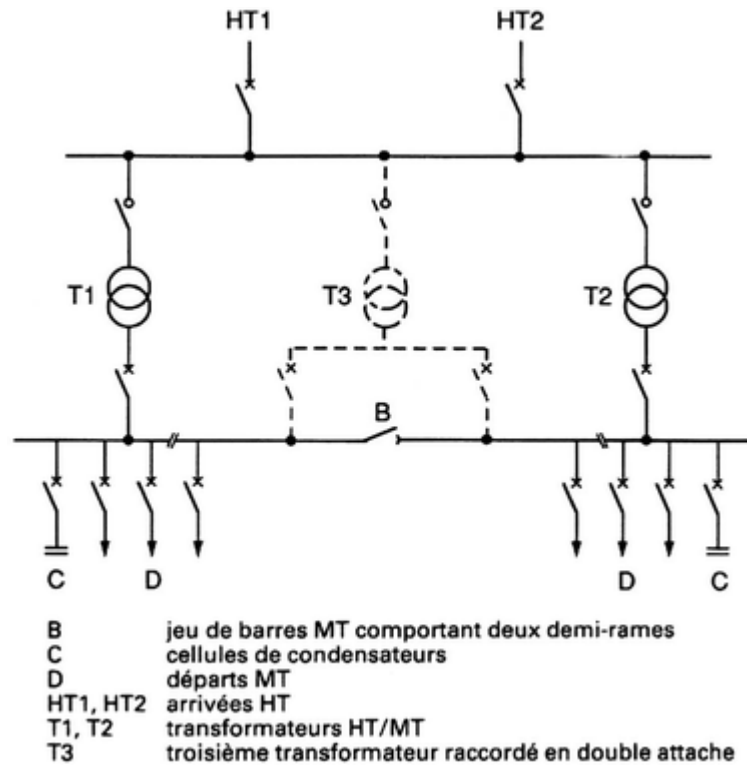


Figure 3 - Poste HT/ MT.

En même temps que le deuxième transformateur, on raccorde généralement une deuxième arrivée HT (HT2), dite *garantie ligne*, opérant en cas de défaut sur la première.

- Le ou les transformateurs débitent sur un tableau MT qui forme un jeu de barres composé de rames. Chaque rame est un ensemble d'une dizaine de cellules environ, organisée en deux demi-rames reliées entre elles par un organe de couplage, en sectionnement de barre (figure 4).

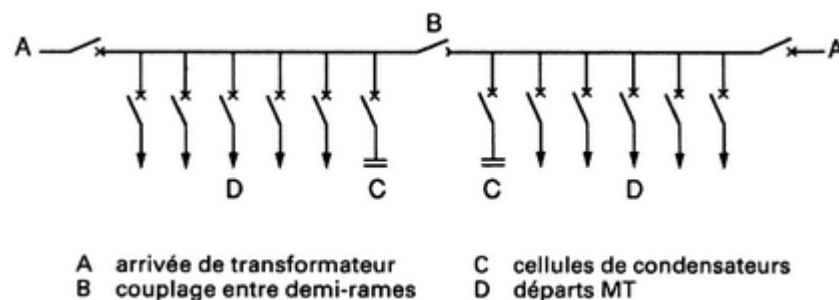


Figure 4. Principe d'une rame MT.

- La demi-rame élémentaire comprend :
 - une arrivée de transformateur ;
 - plusieurs départs MT ;
 - une cellule de condensateurs (compensation de l'énergie réactive) ;
 - éventuellement, un disjoncteur shunt.

Au fur et à mesure de l'évolution de la charge à desservir et de l'augmentation du nombre de départs MT que l'on veut créer à partir du poste, on est amené à multiplier le nombre de rames.

III.1.2 Postes THT/ MT

Ces postes sont conçus pour desservir des puissances nettement plus importantes que les postes HT/ MT, notamment dans les grandes agglomérations.

La structure du poste THT/MT, comme celle du poste HT/MT, est évolutive en fonction de l'augmentation des charges à desservir.

À partir d'un stade initial, dans lequel le poste ne comporte qu'une alimentation THT et un seul transformateur, une évolution progressive peut s'effectuer jusqu'à un stade final comprenant deux (voire trois) alimentations et quatre transformateurs.

III.2. Notion de puissance garantie

Cette notion, concernant les postes aussi bien HT/ MT que THT/ MT, est particulièrement importante et a des implications sur la structure du poste source et des réseaux qu'il alimente.

On dit qu'un poste source est à puissance garantie lorsque, sur incident simple (perte d'une ligne HT ou perte d'un transformateur), le poste peut, à lui seul, continuer à desservir la puissance qu'il fournissait avant l'incident. Cela implique que le poste ait une alimentation HT supplémentaire (*garantie ligne*) et un transformateur de réserve (*garantie transformateur*), pouvant se substituer en secours à l'élément défaillant.

III.3. Emplacement et densité des postes sources

L'emplacement idéal d'un poste source nouveau est normalement au centre de gravité des charges à desservir sur sa zone d'action prévue. En fait, l'optimum économique résulte d'un compromis intégrant, en plus du coût du poste, les coûts de développement des réseaux HT et MT nécessaires, compte tenu de leur situation existante.

De plus, il faut tenir compte des contraintes externes d'environnement (problème de passage de lignes, recherche d'un site, encombrement...), qui sont souvent déterminantes.

Il est difficile de dire, pour une densité de charge donnée, quel est le nombre optimal de postes sources à créer dans une région. Il dépend d'un certain nombre de facteurs, comme la structure THT et HT de la région, les niveaux de tension HT et MT.

L'équilibre technico-économique résulte d'un compromis entre la densité des postes sources et le nombre de départs MT par poste.

IV. Réseaux MT

IV.1 Réseaux MT aérien

Ce sont essentiellement des impératifs d'ordre géographique qui ont influencé la conception technique et structurelle des réseaux aériens MT, en particulier l'étendue des territoires, la densité des populations et la puissance unitaire des clients à desservir.

IV.2. Réseaux MT souterrains

C'est évidemment dans les zones urbanisées que la technique du câble MT isolé enterré est le plus fréquemment employée. En effet, les réseaux aériens sont, en général, proscrits en agglomération pour des raisons d'encombrements de l'espace, d'esthétique et de sécurité.

Remarque : certains pays à forte densité de population, ont pris l'option d'équiper à terme leurs réseaux exclusivement en câble souterrain, que ce soit en milieu rural ou en milieu urbain. Par exemple, aux Pays-Bas, les réseaux sont d'ores et déjà souterrains à 100 %.

Les différences de structure entre réseaux aériens et souterrains proviennent essentiellement, par nature, de la nécessité de faire face à des indisponibilités beaucoup plus longues en système souterrain, pour localiser une avarie éventuelle et en effectuer la réparation (10 à 20 h) ou bien pour réaliser des travaux programmés.

De plus, dans les zones urbanisées à forte densité de charge, ces indisponibilités affectent un nombre important de clients et les exigences de continuité de fourniture sont, en général, plus fortes que pour des réseaux ruraux aériens.

Par ailleurs, les fortes densités de charge dimensionnent les réseaux par les courants admissibles plutôt que par les chutes de tension, et la structure choisie peut avoir une fonction d'optimisation des transits et de répartition de charge, dans les différentes configurations d'exploitation.

Ainsi, une caractéristique fondamentale d'un réseau MT souterrain est le nombre de voies d'alimentation utilisables pour desservir une même charge (poste MT/BT) :

- la structure à une voie d'alimentation, c'est-à-dire purement radiale en antenne, est simple et économique, mais n'offre pas de possibilité de reprise de service en cas d'incident ; c'est pourquoi, sauf cas particuliers rares, elle est proscrite en souterrain ;
- les structures à deux voies d'alimentation sont les plus fréquentes ; on y distingue deux grandes familles : les réseaux en double dérivation et les réseaux en coupure d'artère ;
- les structures à voies d'alimentation multiples sont plus rares, mais assurent une qualité de service encore meilleure.

IV.3. Postes MT/ BT

Ils sont l'interface entre les réseaux MT et BT. Ils ont essentiellement un rôle de transformation MT/ BT auquel peuvent éventuellement être associées une fonction d'exploitation MT (point de coupure) et une fonction de répartition BT, suivant la charge à desservir.

Le poste MT/ BT est un organe très répandu sur le réseau, qui se présente sous des formes extrêmement variées, suivant l'environnement et la puissance à desservir.

Une des caractéristiques essentielles des postes MT/ BT est leur puissance nominale. On rencontre à travers le monde des puissances comprises entre quelques kilovoltampères et plusieurs mégavoltampères. Les plus petits sont réduits à un simple transformateur (monophasé

dans la technique nord-américaine) alimentant une habitation isolée. Les plus gros se présentent sous la forme de bâtiment comportant tout un appareillage de répartition MT et BT, plusieurs transformateurs de puissance, des systèmes de protection et de contrôle-commande, un atelier d'énergie, etc.

IV.3.1 Types de postes MT/ BT

On peut citer plusieurs types de postes MT/ BT de niveau de complexité croissante (figure 5).

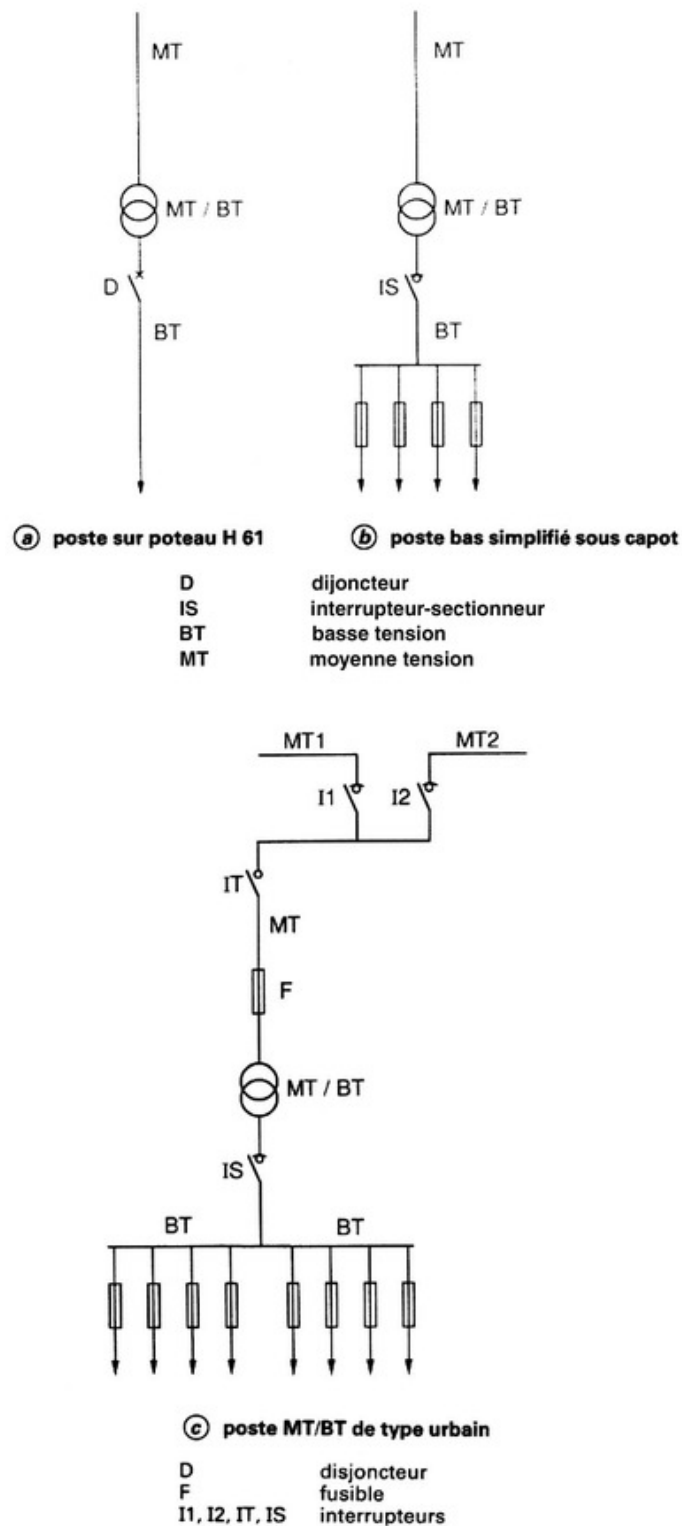


Figure 5. Structures de postes MT/ BT.

- **Poste sur poteau**

C'est le plus simple, utilisé en réseau aérien. Apparu dans les années 50, son principe de conception est de considérer qu'il fait partie intégrante de la ligne. Sur le même poteau sont supportés l'arrivée MT (du type à simple dérivation sans organe de coupure), un transformateur apparent et une sortie BT avec un disjoncteur BT en milieu de poteau (figure 5.a). Ce disjoncteur a un rôle de protection universel contre les surintensités. Ce type de poste, simple et peu coûteux, a permis, dans le passé, l'électrification rapide des écarts ruraux grâce à la grande souplesse de distribution des charges.

Les puissances normalisées du transformateur sont : 63 ; 100 ; 160 kVA

- **Poste bas simplifié sous capot**

Généralement préfabriqué, raccordé exclusivement sur des réseaux aériens MT, ce type de poste (relativement simplifié et compact, 3 m² et 1,50 m de hauteur), permet de délivrer des puissances (160 ; 250 ; 400 kVA) supérieures à celles du poste sur poteau, dans des conditions encore économiques.

La liaison avec le réseau MT s'effectue par descente aéro-souterraine en câble sec sans organe de coupure (figure 5.b), le raccordement au transformateur étant réalisé par prise embrochable.

L'énergie BT peut être répartie par un ensemble comportant un organe de coupure et jusqu'à quatre départs protégés par fusibles. Ce type de poste remplace les conceptions plus anciennes en maçonnerie traditionnelle (cabine basse), coûteuses et aujourd'hui abandonnées.

- **Postes de type urbain raccordés en souterrain (figure 5.c)**

Suivant les contraintes d'environnement rencontrées, diverses solutions sont utilisées pour l'enveloppe du poste : enterrée dans le domaine public, local en immeuble, cabine en maçonnerie traditionnelle ou préfabriquée manœuvrable soit de l'extérieur, soit de l'intérieur.

Du fait des structures de réseau MT en coupure d'artère ou en double dérivation, ils comportent un appareillage MT composé en général de deux arrivées MT (MT1, MT2) avec cellules interrupteur en technique protégée, et une cellule de protection du transformateur avec fusible et éventuellement un interrupteur. Le poste est prévu en général pour un seul transformateur, mais dans certains cas, il peut y en avoir plusieurs pour faire face à des charges ponctuelles importantes.

Les puissances normalisées de transformateur sont : 250 ; 400 ; 630 ; 1000 kVA

En basse tension, la répartition de l'énergie se fait par l'intermédiaire d'un tableau BT comportant, en aval d'un disjoncteur ou d'un interrupteur, quatre ou huit départs protégés par fusibles.

Les transformateurs installés dans ces différents postes sont équipés de trois prises de réglage de la tension BT à vide (0 %, $\pm 2,5$ %).

IV.4. Régimes de neutre MT

Le choix du régime du neutre d'un réseau MT engage l'avenir, car chaque système entraîne l'installation de matériels spécifiques pour le niveau d'isolement, les conditions d'exploitation et d'entretien, les systèmes de protection contre les défauts. Le système de neutre adopté doit être cohérent avec la structure du réseau MT (niveau de tension, longueur des départs, réseau souterrain ou aérien, densité de charge) et a une incidence sur les niveaux de sécurité et de qualité de service. On rencontre ainsi à travers le monde des systèmes variés (tableau 1).

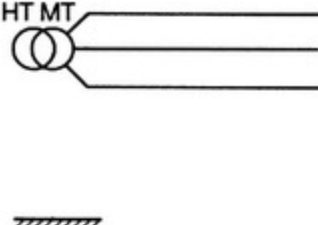
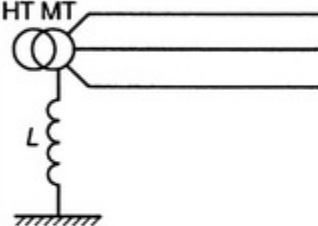
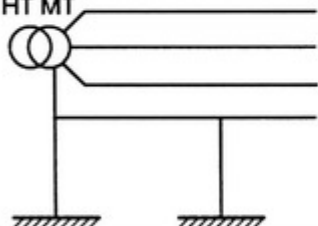
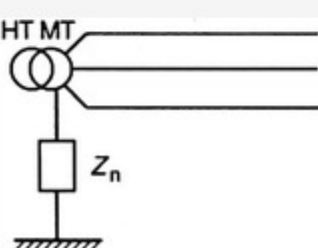
Régime de neutre MT	
	Neutre isolé
	Bobine d'extinction dite de Petersen L : compensation de la capacité du réseau
	Neutre directement à la terre
	Neutre impédant Z_n : quelques dizaines d'ohms

Tableau 1. Types de régime du neutre en MT.

IV.4.1 Neutre isolé

L'intérêt de ce système est de favoriser une bonne qualité de service. En cas de défauts entre phase et terre, il permet d'éviter des déclenchements, les courants de défauts étant limités à des valeurs très faibles (sauf lorsque les départs, surtout s'ils sont constitués de câbles souterrains, sont longs et la tension de desserte élevée, auquel cas le courant capacitif devient non négligeable). Mais, pour bénéficier de cet avantage, une surveillance attentive est nécessaire de manière à éviter le maintien prolongé d'un défaut entre phase et terre ; sinon, on risquerait trop souvent l'apparition de court-circuit biphasé, en cas de nouveau défaut à la terre sur une des autres phases. En revanche, la montée des phases saines à la tension composée nécessite l'utilisation d'un matériel surisolé, ou bien d'un dispositif d'élimination des défauts associé à la surveillance de l'isolement entre phase et terre.

De plus, le système à neutre isolé a l'inconvénient de générer des surtensions importantes en régime transitoire (lors de manœuvres).

IV.4.2 Mise à la terre du neutre par bobine d'extinction (dite de Petersen)

Le principe consiste à insérer, entre le point neutre du réseau et la terre, une bobine dont la réactance est telle qu'il y ait résonance, à la fréquence industrielle, avec la capacité homopolaire du réseau. Le courant de défaut est donc nul lorsqu'un conducteur est relié accidentellement à la terre. Ce système ne fait pas l'objet des limitations rencontrées avec le neutre isolé, mais nécessite une réadaptation de la valeur de la réactance de la bobine à chaque changement de configuration du réseau. Il présente, sur le plan de la qualité de service, l'avantage, grâce à l'extinction spontanée des arcs engendrés sur défauts entre phase et terre, de ne pas perturber la distribution comme dans le cas du neutre isolé. Il présente néanmoins les mêmes inconvénients, les surtensions transitoires au moment des manœuvres étant toutefois un peu moins élevées.

IV.4.3 Neutre relié directement à la terre

Cette technique engendre des courants de défauts entre phase et terre très importants. C'est pourquoi, pour des raisons de sécurité, afin de limiter le retour du courant par le sol, on installe un conducteur de neutre relié à la terre de proche en proche et par lequel circule une part notable du courant de défaut.

Ce système présente l'avantage de minimiser les surtensions éventuelles. Il conduit à des déclenchements fréquents, mais permet une élimination sélective des défauts, en utilisant par exemple des fusibles adaptés en différents emplacements des départs. Les courants de court-circuit élevés entraînent des contraintes importantes sur les matériels. Ce système nécessite une surveillance de la continuité du conducteur de neutre. Une rupture de celui-ci serait

dangereuse, entraînant de forts gradients de potentiel autour des connexions de terre, liés aux courants élevés d'écoulement à la terre.

IV.4.4 Neutre relié à la terre par impédance

L'intérêt de cette impédance est de limiter les valeurs des courants de court-circuit sur défauts entre phase et terre, tout en ayant des surtensions modérées. Les valeurs relativement peu élevées des courants de défauts ne nécessitent pas l'ajout d'un conducteur de neutre.

Ce système est un compromis entre ceux décrits (neutre isolé et neutre directement la terre) conduisant à des contraintes raisonnables de tenue des matériels aux courts-circuits et permettant un fonctionnement fiable des systèmes de protection aptes notamment à déceler les défauts résistants. Néanmoins, il conduit à des déclenchements en cas de défaut.

V. Réseaux BT

V.1 Généralités

On rencontre à travers le monde les deux systèmes de distribution BT : monophasé et triphasé.

Le choix entre les deux systèmes résulte de considérations diverses :

- cohérence avec le système de distribution MT et la technique choisie de transformation MT/BT ;
- topologie des charges, justifiant économiquement l'un ou l'autre des deux systèmes ;
- contraintes liées aux appareils d'utilisation (moteurs,...).

Ainsi, les réseaux BT sont très généralement triphasés (4 fils, 3 phases et neutre), alors que la distribution BT monophasée (2 fils, phase et neutre) est aussi très répandue dans certains pays (ex : Amérique du Nord). Dans certains cas, la distribution monophasée BT peut être effectuée avec 3 fils (double système monophasé en opposition de phase avec retour commun).

Suivant les contraintes d'environnement, les ouvrages peuvent être réalisés soit en lignes aériennes, soit en câbles enterrés. Cette dernière technique est plus coûteuse, mais c'est la seule qui puisse être employée en zone urbaine dense ; les câbles sont en général de forte section (150 ou 240 mm²) en prévision des aléas d'évolution des charges.

Dans les autres cas, le réseau est généralement aérien. Bien que l'on rencontre encore des réseaux BT équipés de conducteurs nus, la technique des conducteurs isolés pré-assemblés en faisceau a tendance à se généraliser. Cette technique, apparue dans les années 60, d'un coût équivalent à celle des conducteurs nus, présente de nombreux avantages : meilleure fiabilité, meilleure qualité de service, exploitation plus aisée, amélioration de la sécurité des tiers et des intervenants. Ces conducteurs peuvent être tendus sur des supports ou épouser les contours des façades, ce qui les rend moins apparents.

V.2 Types de structures

On peut distinguer schématiquement trois types de structures de réseau à basse tension.

- Structure arborescente

C'est de loin la plus répandue. Elle est, dans la plupart des cas, considérée comme suffisante. En effet, bien que les détails de localisation de défauts et de réparation soient non négligeables, surtout en souterrain, le nombre de clients affectés par l'indisponibilité d'un tronçon est beaucoup plus faible qu'en MT. Les coûts de mise en œuvre d'une structure bouclable ne sont en général pas justifiés par rapport à l'amélioration de qualité de service qui en résulterait. Cela est d'autant plus vrai que l'utilisation de moyens mobiles de dépannage adaptés (groupe électrogène, câble BT volant) permet de diminuer notablement les délais de réalimentation de la clientèle. Néanmoins, en réseau souterrain, pour faciliter la localisation des défauts et réduire la longueur des tronçons indispensables, on peut installer des boîtes de coupure, tous les 200 m par exemple. Le système de protection d'un départ arborescent est relativement simple : fusible de départ ou disjoncteur BT au poste MT/ BT.

On peut remarquer que la structure arborescente autorise une exploitation simple, tout au moins lorsqu'il n'y a pas de boîtes de coupure, les manœuvres étant très réduites.

-Structure bouclable

Elle consiste à insérer des points de bouclage (par boîtes de coupure, ou dans les postes) ouverts en fonctionnement normal, entre deux départs du même poste MT/BT ou de deux postes voisins. Néanmoins, une telle structure peut être réalisée progressivement au fur et à mesure du développement du réseau et, notamment, lors de l'apparition de postes MT/BT supplémentaires, certains bouclages s'établissant de fait.

Sur les réseaux aériens, les temps de manœuvre étant du même ordre que les temps de réparation, c'est essentiellement en souterrain que la structure bouclable peut éventuellement être envisagée.

Il est à noter que l'exploitation de cette structure nécessite de se doter d'équipes d'intervention, pour effectuer les manœuvres de reprise de service en cas de panne et de retour en schéma normal après réparation.

- Structure maillée

Cette structure très coûteuse a été réalisée dans des cas où l'on souhaite un niveau de qualité de service très élevé (certaines grandes villes).

L'ensemble du réseau BT est interconnecté par l'intermédiaire de fusibles de calibre adapté. En cas d'incident sur un poste MT/ BT ou sur un tronçon BT, l'élimination sélective par fusible de l'ouvrage avarié permet de ne pas couper la clientèle (sauf celle raccordée directement sur le tronçon BT en défaut).

Outre son coût élevé, la fragilité de ce système en cas de surcharge et son exploitation très délicate (connaissance des transits, vérification des fusibles) ont conduit dans la majorité des cas à abandonner cette conception.

V.3. Régimes de neutre BT

D'une manière très générale, les transformateurs MT/BT ont pratiquement toujours leur point accessible et raccordé à un conducteur de neutre (réseau BT triphasé à quatre conducteurs).

Le point neutre du transformateur est mis directement à la terre au poste MT/BT. Le conducteur de neutre des réseaux BT est mis à la terre au moins tous les kilomètres, sauf dans les zones à risque élevé de surtensions atmosphériques où la mise à la terre doit être réalisée tous les 300 mètres.

En fait, les problèmes essentiels qui se posent sont liés à la protection des utilisateurs BT contre les risques de contact électrique indirect et concernent le régime de mise à la terre des enveloppes métalliques (masses) des appareils d'utilisation.

Les deux schémas les plus généralement utilisés pour les réseaux de distribution BT sont ceux donnés ci-après :

- Le schéma T-T, avec neutre à la terre et masses d'utilisation à la terre, présente l'avantage de ne pas mettre sous tension les masses en cas de coupure du neutre du réseau. La terre des abonnés ne bénéficie pas de l'interconnexion avec les autres terres par l'intermédiaire du neutre du réseau ; il est toutefois facile d'éliminer les défauts d'isolement des appareils d'utilisation des abonnés, en installant, en tête du branchement, un disjoncteur différentiel à moyenne sensibilité, par exemple 0,5 A, qui permet d'éviter les risques de montée en tension dangereuse des masses avec des prises de terre de résistance allant jusqu'à 50 ou 100 Ω .
- Le schéma T-N, avec neutre à la terre et masses reliées au neutre et à la terre, présente l'avantage d'obtenir une plus faible valeur de la résistance de terre grâce à l'interconnexion de la prise de terre du poste avec celles des abonnés, par l'intermédiaire du neutre. Cela limite les surtensions dues à l'écoulement de courants de défaut à la terre, mais en revanche, en cas de coupure du neutre, les masses sont portées à une tension plus ou moins élevée, fonction de la répartition des charges sur les trois phases du réseau.